

黄瓜幼苗生长信息的无损监测系统的应用与验证

武聪玲, 滕光辉, 李长纓

(中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 初步探讨了利用计算机视觉技术, 在试验温室条件下, 对单株黄瓜幼苗的生长实行无损监测。分别对叶面积和干鲜重的破坏性测量与计算机视觉无损测量结果相比较, 通过相关性分析, 计算机视觉测量的叶冠投影面积与激光叶面积仪测量的叶面积决定系数为 0.976, 与茎叶干、鲜重的决定系数分别为 0.874 和 0.914。试验验证计算机视觉无损监测系统可以对植物的生长参数进行比较可靠的预测。

关键词: 计算机视觉; 黄瓜幼苗; 无损监测; 图像处理

中图分类号: TP274.2; TP242.62

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)04-0109-04

武聪玲, 滕光辉, 李长纓 黄瓜幼苗生长信息的无损监测系统的应用与验证[J]. 农业工程学报, 2005, 21(4): 109-112

Wu Congling, Teng Guanghui, Li Changying Application and validation of computer vision based nondestructive measurement system for cucumber seedling growth conditions[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(4): 109-112 (in Chinese with English abstract)

0 引言

环境参数与作物生长过程控制自动化水平, 一直是现代温室设施工程技术创新的驱动力。当今传感器技术的快速进步和计算机控制技术的发展, 已使工厂化温室控制与自动化向数字化、智能化方向快速发展。在设施园艺工程领域未来技术发展方面, K. C. Ting 等人^[1]提出了由保护地栽培向建立“植物生产工程系统”的新概念, 这实际上是突出基于信息和知识来管理复杂的设施园艺系统的一种技术思想。

然而目前国内此方面的研究都只是仅仅考虑室内气象参数的反馈, 而温室是一个复杂的非线性、多因素、大时变系统, 温室内植物受到周围环境的影响, 传统的分析方法很难量化这样一个复杂的系统, 从而对这个系统进行合理控制。早在 1989 年, Hashimoto^[2]就提出了 SPA (Speaking Plant Approach) 的控制新思想, 利用先进的传感器, 对温室植物的生长进行无损测量, 采集植物的实时生长信息并且反馈给控制器, 再结合人工智能的方法(如专家系统, 神经网络和遗传算法等)从而实现温室的智能化控制。因此实时准确采集植物生长信息成为实现 SPA 控制的关键, 而开发视觉传感器采集植物生长信息也已经成为国内外研究的热点。目前国内的研究仅处于起步阶段, 在利用计算机视觉技术进行温室植物生长监测方面的研究才刚刚展开^[3]。

叶面积反映植物生长状况, 可被用来对植物生长进行分析并建立植物生长模型^[4]。Hack^[5]在温室条件下利用图像处理技术测量生菜初期生长阶段的叶面积, 他采

用 750~1100 nm 波段的近红外光采集植物图像, 得到较满意的测量叶面积与植物鲜重的回归曲线。P. Ling^[6]对幼苗阶段的生菜生长状况进行连续监测, 发现叶冠投影面积的变化可以反映植物的缺肥情况。E. J. Van Henten^[7]研究了植物叶冠相对覆盖率与植物干重之间的关系, 并用实验验证了作物的叶面积与植物的干重之间的确存在线性关系。这一研究为图像处理测量叶面积、预测干鲜重提供了理论依据。日本千叶大学贺冬仙博士^[8]采用双目立体视觉技术, 对穴盘中的甘薯幼苗进行无损测量, 可以实现对株高、叶面积等参数的无损检测。国内的杨劲峰等^[9]采用平台扫描仪获取叶片的数字图像, 建立运用数字图像处理技术测定蔬菜叶面积的方法。结果表明: 图像处理方法和传统的叶面积测定方法的测定结果呈极显著的线性相关关系, 试验还得出采用直尺法时, 油菜和空心菜的叶面积的校正系数分别为 0.792 和 0.818。中国农业大学李长纓等^[10]用图像处理测量植株的平均株高, 与人工测量结果的相关系数可以达到 0.927。

基于以上分析, 本文拟在温室条件下, 应用文献^[10]中的黄瓜幼苗计算机视觉无损监测系统, 采用图像处理的方法, 提取黄瓜幼苗的外部形态参数; 试验验证叶面积与干鲜重的相关性, 实现无损测量植物的干鲜重。

1 材料与方法

计算机视觉系统的构成与植物生长温室设计在文献^[10]中已有详细论述。

1.1 系统标定

由于数字图像由一个个像素点组成, 要通过计算图像中的叶片的像素数求出叶片的面积, 在拍摄图像进行数字图像处理前, 必须对计算机视觉系统进行标定。每次拍摄植物叶冠投影面积时采用相同的拍摄高度, CCD 镜头距离桌面高度 775 mm, 考虑到花盆的高度, 叶面与镜头的实际高度为 575 mm。为了使测量结果更准

收稿日期: 2004-04-05 修订日期: 2004-09-29

基金项目: 北京市科技计划项目——工厂化高效农业研究与示范“温室生物环境信息自动采集分析系统研究”(H020720010230)

作者简介: 武聪玲, 北京市清华东路 17 号 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083, Email: wucn@cau.edu.cn

通讯作者: 滕光辉, 男, 博士, 教授, 北京市清华东路 17 号 中国农业大学水利与土木工程学院 195# , 100083, Email: futong@cau.edu.cn

确, 每次拍摄应该尽可能使植物叶面充满画面, 由于叶冠面积不断增长, 需采用三种不同的焦距: $f = 156 \text{ mm}, 137 \text{ mm}, 120 \text{ mm}$ 。标定用白色圆纸片, 直径 110.5 mm , 面积 9591.5 mm^2 。在三个不同焦距, 六个不同高度下拍照, 求出图中一个像素点 (pixel) 所代表的真实面积和长度, 那么数出相同焦距, 相同拍摄高度下的黄瓜图像中像素点数, 就可计算出真实面积和长度。

表 1 图像系统标定表

Table 1 Calibration table of computer vision system

拍摄高度 /mm	焦 距					
	156 mm		137 mm		120 mm	
	面积 mm ² /pixel	长度 mm/pixel	面积 mm ² /pixel	长度 mm/pixel	面积 mm ² /pixel	长度 mm/pixel
575	0.026792	0.163704	0.03414	0.184783	0.044275	0.210476
570	0.026586	0.162979	0.033900	0.184167	0.044118	0.210076
565	0.026146	0.161786	0.033504	0.182947	0.043619	0.208885
560	0.025717	0.160377	0.032799	0.181148	0.042701	0.206542
555	0.025147	0.158764	0.048284	0.179383	0.041973	0.204630
550	0.024640	0.157183	0.024640	0.177653	0.024640	0.202381

1.2 图像分析方法

对图像进行灰度阈值分割试验表明, 由于叶片的阴影, 灰度值与叶片很接近, 很难分割出来, 给后面的计算带来较大误差。由于植物的叶冠为绿色, 与背景颜色有较好的区分度, 所以考虑采用颜色信息来分割植物叶冠, 这样同时可以解决用灰度阈值分割方法无法分割阴影的问题。HIS 颜色模型与人眼感觉颜色的原理相似, 本文采用 HIS 模型检测颜色信息。通过多幅植物图像色度直方图统计可以得到植株叶冠色度分布区间, 如表 2 所示。

表 2 黄瓜幼苗叶冠色度值分布

Table 2 Hue distribution of cucumber seedling canopy

图片标号	1	2	3	4	5	6	7
色度值分布	36~ 70	37~ 75	37~ 74	35~ 72	36~ 74	37~ 75	37~ 74

由表 2 可见, 植物叶冠的色度值变化范围基本稳定在 35~ 75 之间, 因此可以在此范围内确定分割阈值, 将植物叶冠与背景分离出来。对分割后的图像, 分别采用中值滤波和数学形态学的开闭运算进行噪声去除和孔洞填充。

分割试验表明, 选用 3×3 的模板进行中值滤波可以取得较好的处理效果。本文采用开、闭运算来进行噪声去除和孔洞填充。开闭运算是腐蚀和膨胀运算的组合运算。试验表明, 对分割后的二值图像进行两次开运算和一次闭运算后可以取得较为满意的结果。

1.3 图像分析软件设计

本软件可以实现图像采集、系统标定、图像处理、数据管理、数据浏览和打印, 根据数学模型计算真实叶面积和植株茎叶干鲜重等功能。本软件在 VC++ 6.0 的环境中开发, 同时利用虚拟仪器公司提供的 MAQ Vision^[11] 图像处理函数库, 大大提高了图像处理软件的开发速度, 缩短了开发周期。操作系统为 Microsoft Windows 2000 Server。系统软件主要采用菜单驱动形

式完成各功能的实现, 人机信息交换通过对话框形式。本系统主要针对温室黄瓜幼苗生长监测, 同时也可以对番茄等作物进行生长监测, 具有很好的扩展性能。

1.4 叶面积与干鲜重测量仪器

用 CI-203 激光叶面积仪 (美国 CD 公司生产) 测量叶面积。叶面积测量精度为 0.001 cm^2 , 工作温度为 $0 \sim 50$ 。最大测量厚度为 25 mm , 宽度为 150 mm 。叶面积仪内部的存储器上可以保存 64K 字节的测量数据, 也可以将测量数据通过 RS232 串行接口传送到外界的打印机或计算机上。每株黄瓜有 8~ 10 个叶片, 剪下叶子, 每片叶子用叶面积仪测量 3 次取平均值, 再将所有叶片面积累加起来得到整株黄瓜的叶面积。

干物重不会受含水率变化的影响, 能较好地反映植株的物质积累和生长状况。将植株置于 100 以上的高温或用红外线照射失去水分至恒重时所得的质量, 即为干物重。鲜重是指在田间生长的作物植株的质量。选取新鲜植株样品, 洗净, 擦干后所得的质量即为鲜重。测量黄瓜茎叶干鲜重的天平采用德国产 AC-100 型电子天平, 测量精度为 0.0001 g 。干重测量: 用烘干炉加热至 105 , 24 h 后在天平上称重。鲜重测量: 用叶面积仪测量完叶面积后直接在天平上称重。由于地面以上部分对于植物干鲜重积累具有重要作用, 我们只测量黄瓜的茎叶干鲜重。8 月 16 日播种 30 株黄瓜, 在生长期, 每隔 7 d, 随机挑选 4~ 8 株测量叶面积和干鲜重。播种后 30 d 进行第一次干鲜重的测量。

2 结果与讨论

2.1 无损测量茎粗结果

选择 14 株黄瓜幼苗分别用图像处理方法和游标卡尺测量茎粗, 测量结果及数据分析见表 3。结果表明图像处理方法的测量结果与手工测量结果有很好的相关性 ($R^2 = 0.927$), 二者的相关关系为: $Y = 0.9949X - 0.2182$ 。

表 3 茎粗计算机测量值与人工测量值比较

Table 3 Comparison of results of stem width measured by computer vision and by hand

标号	像素数	图像处理茎粗 /mm	手工测量茎粗 /mm	测量误差
1	16	4.06	3.98	0.018
2	17	4.31	4.22	0.020
3	12	3.04	3.11	- 0.022
4	13	3.30	3.22	0.023
5	20	5.07	5.12	- 0.010
6	21	5.32	5.33	- 0.001
7	12	3.04	3.10	- 0.019
8	11	2.79	2.88	- 0.031
9	31	7.86	7.89	- 0.004
10	27	6.84	6.66	0.027
11	22	5.58	5.42	0.028
12	23	5.83	5.77	0.010
13	24	6.08	6.22	- 0.022
14	19	4.82	4.99	- 0.035

茎粗测量误差主要是由茎杆上的绒毛干扰引起的, 所以把营养钵以上到黄瓜子叶下方区域内的平均测量值作为最后的茎粗测量值, 减少由于个别区域的变形造成的误差。

2.2 图像处理测量叶面积结果

用计算机视觉方法测量的叶面积由于叶片之间的遮挡, 与叶面积仪测量结果有一定偏差, 不能完全代表真实叶面积。但是由于计算机测量的叶冠投影面积与叶面积仪测量结果存在相关性, 可以利用计算机视觉方法测量的叶冠投影面积预测植物真实叶面积。又由于植物的叶面积与干鲜重存在相关性, 所以可以利用叶面积来预测茎叶干鲜重。测量 30 株黄瓜幼苗的叶冠投影面积与叶面积仪测量结果比较, 用相关性方法分析它们之间的关系, 如图 1 所示。

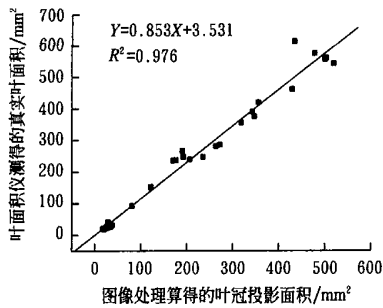


图 1 图像处理测量叶冠投影面积与激光叶面积仪测量叶面积
Fig 1 Top project leaf area measured by image processing and leaf area measured by leaf area meter

得到的线性回归方程为:

$$Y = 0.853X + 3.531$$

由回归方程可以看出, 计算机测量叶冠投影面积与叶面积仪测量叶面积之间的决定系数高达 0.976。从图中可以看出: 在叶冠投影面积值较小时, 也即黄瓜叶片较少时, 数据点很好的落在了回归直线上, 而随着叶片数量的增加, 数据开始偏离回归直线, 这是由于叶片之间的遮盖会加大, 叶冠投影面积不能很准确的反映真实叶面积, 从而相关性降低。

2.3 叶面积与干鲜重的相关性分析

植物的叶面积与干鲜重之间存在相关关系, 首先通过实验研究黄瓜苗真实叶面积与干鲜重的相关性, 又由于图像处理叶冠投影面积与真实叶面积存在很好的相关性, 从而可以直接由图像处理叶冠投影面积预测黄瓜茎叶干鲜重。

分别通过指数回归与线性回归两种方法对图像处理叶冠投影面积与黄瓜苗茎叶干鲜重之间的相关性进行分析, 结果如图 2 至图 5 所示。

由以上回归结果可以看出: 线性回归比指数回归方程可以更好的反映茎叶干鲜重与图像处理叶冠投影面积的相关关系。线性回归的决定系数在 0.874~0.914 之间。从图中可以看出: 在叶冠投影面积值较小时, 也即黄瓜叶片较少时, 数据点很好的落在了直线上, 而随着叶片数量的增加, 叶冠投影面积也增加, 数据开始偏离

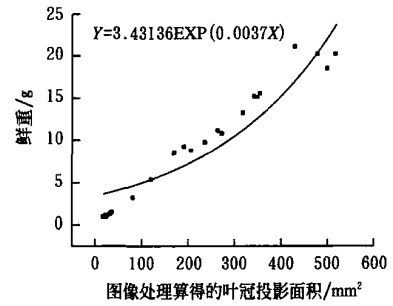


图 2 植物鲜重与叶冠投影面积指数回归分析
Fig 2 Exponential regression analysis between plant fresh weight and top projected leaf area

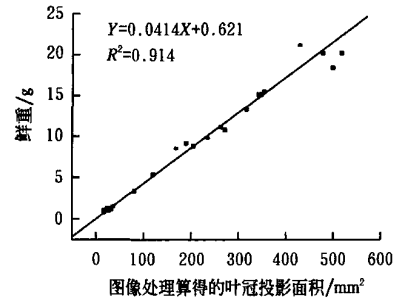


图 3 植物鲜重与叶冠投影面积线性回归分析
Fig 3 Linear regression analysis between plant fresh weight and top project leaf area

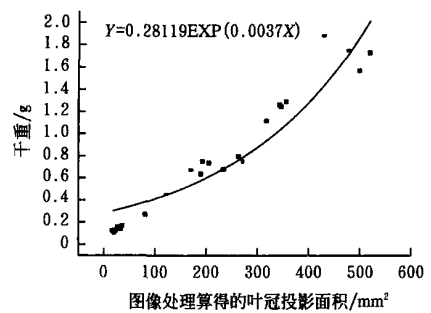


图 4 植物干重与叶冠投影面积指数回归分析
Fig 4 Exponential regression analysis between plant dry weight and top projected leaf area

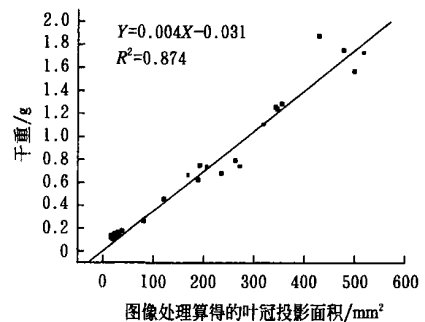


图 5 植物干重与叶冠投影面积线性回归分析
Fig 5 Linear regression analysis between plant dry weight and top project leaf area

回归直线。造成这种现象的原因主要是:当叶片数量较少时,叶片之间的遮盖相对较小,测量结果相对较准确,但叶片数量增加,叶冠投影面积增大,叶片之间的遮盖也会加大,叶冠投影面积不能很准确的反映真实叶面积,从而与干鲜重的相关性降低。

由于茎叶干鲜重与图像处理叶冠投影面积具有很高的相关系数,所以可以通过计算机视觉测量的叶冠投影面积来间接计算黄瓜茎叶干鲜重,从而达到无损测量干鲜重的目的。本实验验证的线性回归方程可以用于温室环境下无土栽培黄瓜茎叶干鲜重的无损测量和预测。

3 结 论

1) 利用图像处理技术,可以实现对黄瓜幼苗株高、茎粗、叶冠投影面积等多项形态特征参数的无损测量。

2) 在试验温室生长条件下,通过实验和回归分析的方法,分别对叶面积和干鲜重的破坏性测量与计算机视觉无损测量结果相比较,计算机视觉测量的叶冠投影面积与激光叶面积仪测量的叶面积决定系数为 0.976,叶冠投影面积与茎叶干、鲜重的决定系数分别为 0.874 和 0.914。

3) 试验结果表明,完全可以通过计算机视觉无损测量黄瓜幼苗的叶冠投影面积,较好的预测植株真实叶面积以及茎叶的干鲜重,预测结果可以达到较好的精度。

4) 由于图像分割处理的难度,本文目前还只限于单株水平和实验室人工构造光源条件下的试验研究,建议日后的研究应向多株水平和真实生产条件下深入。

致谢:本论文是由“温室生物环境信息自动采集分析系统研究”项目资助的,论文的完成得到了国家农业信息技术研究中心主任赵春江研究员和乔晓军博士的大力支持,在此表示衷心的感谢。

[参 考 文 献]

- [1] David H. Fleisher, Sukwon Kang, Ting K C. Software for multiple crop production in advanced life support systems[R]. ASA E Paper NO: 01-4084
- [2] Morimoto T, Hashimoto Y. AI approaches to identification and control of total plant production—for SPA & SFA to environmental control[A]. 3rd IFAC/C IGR workshop on artificial intelligence in Agriculture [C]. Maruhari, Chiba, Japan April 24- 26, 1998 1- 20
- [3] 李长纓. 基于计算机视觉的温室黄瓜幼苗生长监测系统研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003
- [4] Miyama D, Takai M, Hata S. Determination of a partially occluded seedling leaf area in the digital image sensing[J]. *Acta Horticulturae*, 319, 1992: 677- 682
- [5] Hack G R. The use of image processing under greenhouse conditions for growth and climate control [J]. *Acta Horticulturae*, 230: 215- 220
- [6] Giacomelli G A, Ling P P, Morden R E. An automated plant monitoring system using machine vision [J]. *Acta Horticulturae*, 440: 377- 382
- [7] E. J. Van Henten. Non-destructive crop measurement by image processing for crop growth control [J]. *J of Agriculture Engineering Research*, 1995, 61, 97- 105
- [8] Dongxian He. Development of a plug-transplant production system and an image analysis system for use in sweet potato [D]. Japan: Chiba University, 2002
- [9] 杨劲峰, 陈清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(4): 155- 158
- [10] 李长纓, 滕光辉, 赵春江, 等. 利用计算机视觉技术实现对温室植物生长的无损监测[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(3): 140- 143
- [11] MAQ Vision for Lab Windows (CVI [M]). National Instruments, 2000

Application and validation of computer vision based nondestructive measurement system for cucumber seedling growth conditions

Wu Congling, Teng Guanghui, Li Changying

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract The possibility of using computer vision technology in greenhouse to monitor the individual cucumber plant growth conditions was studied. Destructive measurement of leaf area and dry weight and fresh weight of plant seedlings and computer vision based nondestructive measurement of these factors were compared and the correlation analysis was made. The R square value between top projected leaf area measured by computer vision and by laser leaf area meter is 0.976, and the ones between top projected leaf area and dry weight and fresh weight of individual plant are 0.874 and 0.914, respectively. The experiment shows that computer vision technology can make a relative accurate prediction of plant growth parameters.

Key words: computer vision; cucumber seedling; nondestructive measurement; image processing